

## *Sargassum* の藻体内における物質移動と藻体各位 における光合成および呼吸能について

池 森 雅 彦・西 田 晃二郎  
金沢大学能登臨海実験所・金沢大学理学部植物学教室

### Translocation of Assimilates in *Sargassum*, and Photosynthetic and Respiratory Activity in Various Parts of the Fronds.

Masahiko IKEMORI and Kojiro NISHIDA  
Noto Marine Laboratory and Botanical Institute, Faculty of Science,  
University of Kanazawa

#### 緒 言

褐藻の一種である *Sargassum* の藻体は、褐藻の中でも最も分化していると考えられている形態 (CORNER 1962), すなわち、葉状部、茎状部、付着器部、生殖器官部、気胞等をもっている。このような形態的な分化が、生理機能とどの程度関連をもっているかと言うことを調べることは、大変興味のあることである。

そこで我々は、高等植物の通導組織に相当するような構造と機能の分化が、この藻類にも見られないかどうかを知る目的で2, 3の実験を行なった。その結果、これら *Sargassum* の藻体の各部分で、光合成及び呼吸能に大きな差異があるにもかかわらず、藻体の一部分で固定された  $^{14}\text{C}$  は、藻体の他の部分へ全く移動しないことが判明した。また、すでに知られている如く、茎状部の横断切片の観察も、これら *Sargassum* の藻体内には、通導組織に相当するような組織的分化が、全く起っていないかった。

これ等の事実から、通導組織を有し、活発な同化産物の移動が行なわれている高等植物とは、非常に異なった生理機構の下で、これら *Sargassum* の生活が営まれているのではないかと考えられたので、ここに結果を報告する。

#### 材料および方法

実験は、本学付属臨海実験所の所在する、能登・小木・九十九湾で、1966年の9月から11月に採集した数種の *Sargassum* を用いて行なった。採集した *Sargassum* のうち、健全な藻体のみを選出し、海水中でよく洗った後実験に供した。

藻体の一部分に固定された  $^{14}\text{C}$  が、藻体の他の部分へ移動するか否かについては、Fig. 1 に示した装置を用いて実験を行なった。海水 250ml 中に  $\text{M}/1000$  になるよう  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  を加え、 $\text{C}^{14}$  の activity は 1 ml 当り 25,000 CPM になるようにした三角フラスコ中へ藻体の先端部または基部を incubate し、残りの部分は  $^{14}\text{C}$  を含まない海水中に incubate した。与えた  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  が三角フラスコの外へもれないよう充分注意を払った。

その後、藻体に 20,000lux の光 (4本の 40W 蛍光灯で照射) を与え、一定時間  $^{14}\text{C}$  固定を行なわしめた後、藻体を取り出し、これを幾つかの切片にハサミで切り分け、各々の藻体片中に含まれている  $^{14}\text{C}$  の

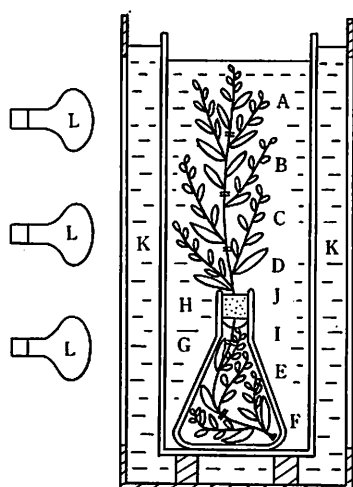


Fig. 1 Outline of experimental set up. A-F, sequence of parts; G,  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  containing vessel; H, sea water; I, air; J, rubber stopper; K, thermostat; L, reflector spotlamps.

照射条件は、Table 中にしるしたとおりである。その結果、藻体の基部または先端部に  $^{14}\text{C}$  固定を行なわしめた場合、固定された  $^{14}\text{C}$  は、基部から先端部の方へも (Table 1 a), また逆に、先端部から基部の方へも (Table 1 b), 全く移動しなかった。同化産物の移動速度に関しては、高等植物で VERNON and ARONOFF (1952), SWANSON and WHITNEY (1953), BIDDULPH and CORY (1957) 等によって、40cm—110cm/時という値が報告されているが、Table 1 に見られるように、*Sargassum* の藻体中ではこのような現象は全く認められなかった。

activity を測定した。このような方法によって、藻体の一部で固定された  $^{14}\text{C}$  が、藻体内を移動するかどうかを調べた。移動物質としては、藻体中のアルコール可溶性物質のみについて調べ、これは前報 (池森・西田 1965) に述べた方法に従って求めた。

藻体の各部分の光合成能および呼吸能は、Fig. 1 の A—F に相当する各部分について調べた。長さ 5—6cm の藻体片を、生量が等しくなるようにそろえ、前報 (池森・西田 1965) に述べた方法によって光合成能および呼吸能を測定した。また、藻体の各部分に含まれている Chlorophyll *a* の含量は、JØRGENSEN (1964) の方法に従って求めた。

### 結果および考察

藻体の一部分に  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  を与え、固定された  $^{14}\text{C}$  が、藻体の他の部分へ移動するかどうかについて、条件を変えて実験を行なった結果を Table 1 に示した。

すなわち、Table 1 の a では基部 E, F に  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  を与え、他の部分への移動を調べた。b では先端部 A, B, C に、c では先端部 A, B に、d では基部 E, F に、また e では同じく基部 E, F に  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  を与えた。それぞれの部分への

Table I The activity of  $^{14}\text{C}$  in the remaining parts of frond following assimilation of  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  by the limited area.

	a	b	c	d	e
Material	<i>S. horneri</i>	<i>S. horneri</i>	<i>S. horneri</i>	<i>S. hemiphyllm</i>	<i>S. confusum</i>
Fresh weight	18 g	18 g	15 g	20 g	12 g
Light	3 hours	3 hours	3 hours	3 hours	3 hours
Dark	0	0	0	0	16 hours
Water temp.	15°C	14°C	15°C	18°C	15°C
	CPM	CPM	CPM	CPM	CPM
The parts of frond	Apex A	0	7,200	6,400	0
	B	0	7,500	6,500	0
	C	0	7,300	0	0
	D	0	0	0	0
	E	8,500	0	0	6,600
	Base F	8,400	0	0	6,300
			covered with aluminium foil	covered with aluminium foil	
			0	0	
			0	0	
			0	0	
			0	7,300	
				7,300	

さらに, Table 1 c に見られる如く, 藻体の基部から中間部までを aluminium foil で包み, 先端部だけに光を当てて  $^{14}\text{C}$  固定を行なわせ, 藻体内に同化産物の濃度勾配を作らしめた場合でも, やはり固定された  $^{14}\text{C}$  の移動は全く起らなかった。また, *Sargassum hemiphyllum* で, 藻体の先端部から中間部までを aluminium foil で包み, 基部だけに  $^{14}\text{C}$  固定を行なわせた場合でも, やはり Table 1 d に見られる如く, 固定された  $^{14}\text{C}$  の移動は全く認められなかった。

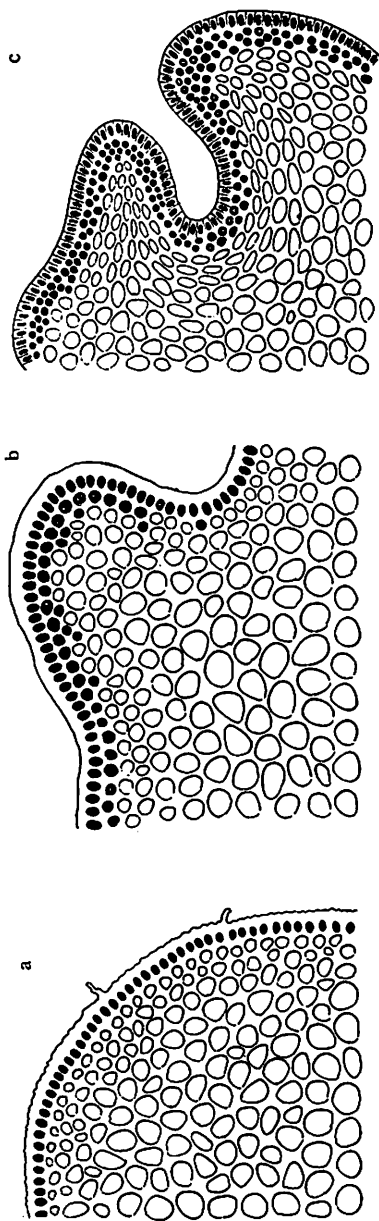


Fig. 2. Transversal sections of the stem of frond. a, *Sargassum hemiphyllum*; b, *S. confusum*; c, *S. horneri*.

そこで, 実験を行なった 3 種の *Sargassum* について, 茎状部の横断切片を作り構造を調べてみた。その結果 Fig. 2 a, b, c に見られる如く, 通導組織に相当するような組織的分化は全く見られず, 色素を含んだ黄褐色, 小形の細胞群が表層に存在し, 色素を含まない白色で大形の細胞群が皮層に存在するのみであった。したがって, 同化物質の移動は, 光合成を最も活発に行なっていると考えられる表層の細胞群から, 色素を有せず, 多分同化産物の貯蔵を行なっているであろうと考えられる, 皮層の細胞群の方へ行なわれているのではないかと考えられる。しかし Table 1 e に見られる如く, *Sargassum confusum* の藻体の一部分に, 3 時間  $^{14}\text{C}$  固定を行なわせ, その後 16 時間暗所に放置した場合でも, 固定された  $^{14}\text{C}$  の長軸方向への移動は, 全く認められなかった。この結果から, 細胞から細胞への物質移動が仮にあったとしても, その速度は非常に遅いものであろうと考えられる。

このように, 物質の移動を行うための組織的, 生理的機能の分化が全く存在しないと考えられる藻体の先端部や中間部, また基部等の各部分で, 光合成能や呼吸能に差異があるか否かについて, *Sargassum hemiphyllum*, *S. tortile*, *S. nigrifolium*, *S. confusum*, *S. horneri* を材料として調べてみた (そのときの実験条件は Table 2 に示した)。

その結果, Fig. 3 a, 4 a, 6 a に見られる如く, *S. hemiphyllum*, *S. tortile*, *S. nigrifolium* の光合成能は, 先端部から中間部の方に行くにつれて徐々に増加し, B または C の部分で最高値に達した後, 急速に減少して, 基部 F に於て最も低い値をとるという変化を示した。一方 *S. horneri* では Fig. 7 a に見られる如く, その光合成能は藻体の先端部で最も高く, 基部の方に行くにつれて急速な減少を示した。また Fig. 5 a に見られるように *S. confusum* では, 藻体のいずれの部分でも, ほぼ等しい光合成能を示した。

呼吸能に関しては, Fig. 3 a—7 a に見られる如く, いずれの藻体に於ても, 先端部で高い呼吸能を, B, C, D, E と基部の方へゆくにつれて徐々に低下してゆき, 基部に於て最も低い呼吸能を示した。

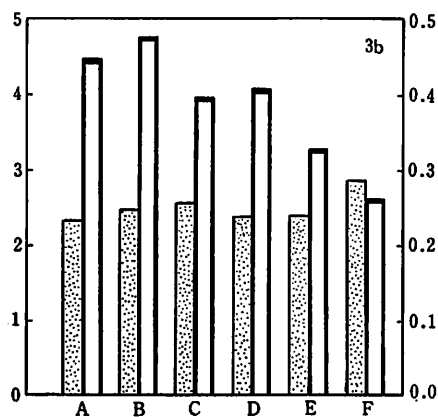
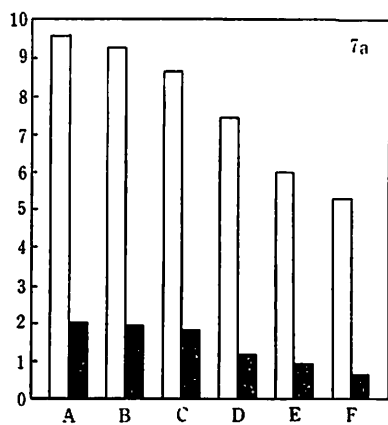
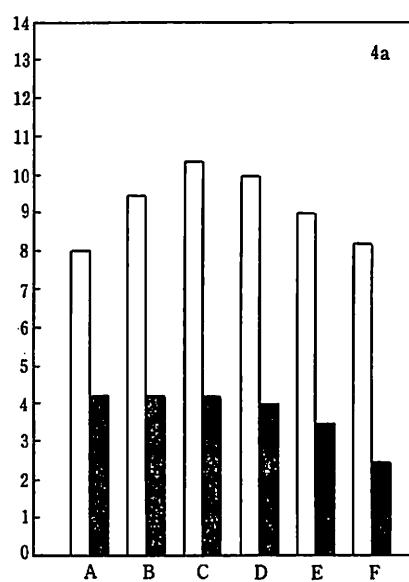
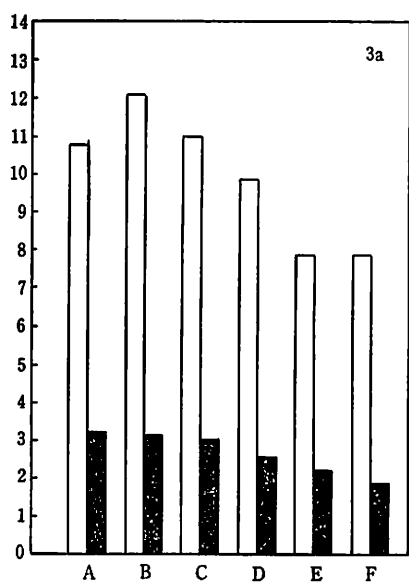
ところで, 成長しつつある高等植物の葉の光合成能の変化に関しては, 植物体の先端部に近い若い葉で始め急速に増大し, 最高値に達した後, 葉令の非常に進んだ基部の葉で, その光合成能は最も低い値を示す, という結果が報告されている (SAEKI & NOMOTO 1958, SAEKI 1959, TAZAKI 1959, SMILLIE & KROTKOV 1961, SESTÁK 1963)。

このような光合成能の変化は, *S. hemiphyllum*, *S. tortile*, *S. nigrifolium* で見られた変化と非常に類似しているように思われる。そこで, これら *Sargassum* で見られた光合成の変化が, 高等植物の葉で見られた

Table 2. Experimental conditions for Fig. 3a-7a and Fig. 3b-5b.

Figure	Material	Fresh weight (g)	Water temperature (°C)
3a, 3b	<i>Sargassum hemiphyllum</i>	7	15.0-15.5
4a, 4b	<i>Sargassum tortile</i>	7	18.0-18.5
5a, 5b	<i>Sargassum confusum</i>	7	19.5-20.0
6a	<i>Sargassum nigrifolium</i>	6	10.5-11.0
7a	<i>Sargassum horneri</i>	10	12.0-12.5

The light intensity for all experiments at the level of the algae is approximately 16,000 lux.



如く、藻体の各部分で age に差異があるために生じたものか、あるいは、Chlorophyll の含量が藻体の各部分で異なっているため生じたものであるかを知るため、実験を行なった藻体の各部分に含まれている Chlorophyll *a* の含量と、Chlorophyll *a* 1 mg 当りの光合成能を調べた。

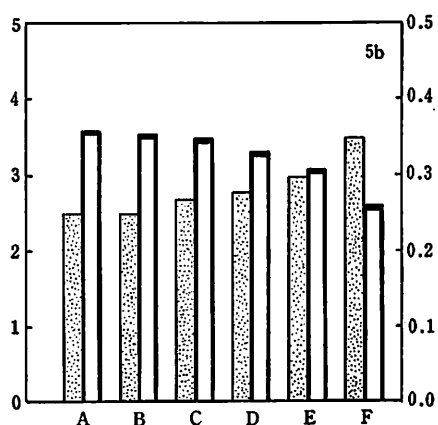
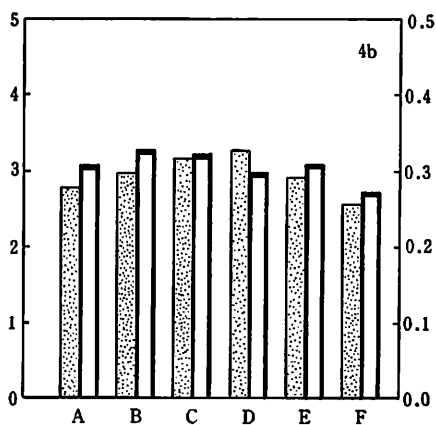
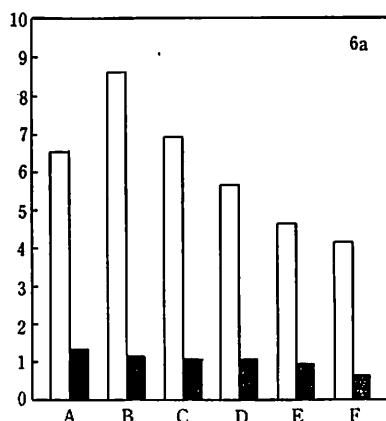
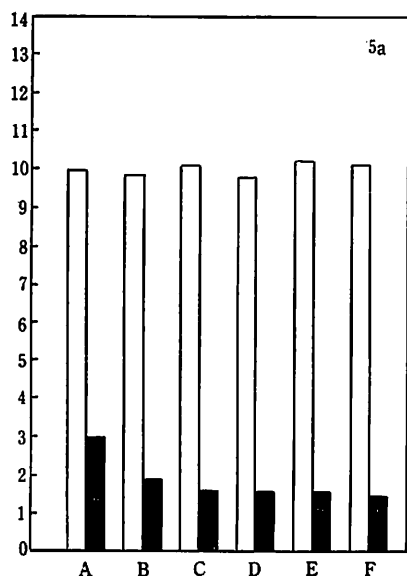






Fig. 3a-7a. Rate of photosynthesis  and respiration  determined by dissolved O<sub>2</sub>. Ordinate: O<sub>2</sub> ml/1 g dry weight/hour; Abscissa, sequence of parts from the apex to the base.

Fig. 3b-5b. Chlorophyll *a* content  and photosynthesis per 1 mg chlorophyll *a*  of the different parts of frond. Abscissa: sequence of parts from the apex to the base; ordinate, right: chlorophyll *a* mg/1 g dry weight, left: O<sub>2</sub> ml/1 mg chlorophyll *a*/hour.

その結果, Fig. 3b—5b に見られる如く, 藻体の各部分の光合成能は, 各部分に含まれている Chlorophyll *a* の含量とは, 必ずしも比例関係を示さなかった。それゆえ, Chlorophyll *a* 1 mg 当りの光合成能は, 藻体の各部分で大きく異なり, 藻体の先端部に近い部分の方が, 基部およびこれに近い部分よりも高い値を示した。このことから, 藻体の各部分の光合成能は, そこに含まれている Chlorophyll の含量のみによって決定されるものではなく, 何か他の要因によって大きな影響を受けているのではないかと考えられる。

この点に関して, SMILLIE and KROTOKOV (1961) は *Pisum sativum* の葉の成長に伴う光合成能と Chlorophyll の含量の変化を研究し, 成長の初期に於て, 光合成能は急速に増大し最高値に達した後, 徐々に減少するが, Chlorophyll の含量はこれと異り, 葉の成長に伴って増加を続けるということを報告している。さらに SMILLIE (1962) はこのような葉令に伴う光合成能の変化を支配しているのは, 葉に含まれている Chlorophyll の含量ではなくて, 葉令に伴って変化する, 光合成に関係のあるいろいろな酵素の活性が, 光合成に大きな影響を及ぼしているということを報告している。

このような事実から考えて, これら *Sargassum* の場合にも, 藻体の各部分で age に差異があるため, *Pisum sativum* の葉で見い出された如き要因, すなわち, 藻体の光合成に関与するいろいろな酵素の活性が各部分で異なり, これが原因となって Fig. 3a—7a で見られた如き結果をもたらしたのではないかと考えられる。しかし, この点に関しては, 今後のより詳細な研究が行なわれなければならないものと考えられる。

いずれにせよ, 藻体の各部分で, 光合成能および呼吸能に大きな差異が存在するにもかかわらず, Table 1a, b, c, d, e で見られた如く, 同化産物の移動を行うための生理機能の分化が全く認められないという事は, これら *Sargassum* の藻体が外部形態上は, 高等植物と類似した分化を示していても, 機能的には甚だ異なっていることを示しているものと考えられる。

#### References

- BIDDULPH, O. and R. CORY, 1957, An analysis of translocation in the phloem of the bean plant using THO, P<sup>32</sup>, and C<sup>14</sup>. *Plant Physiol.*, 32: 608-619
- CORNER, E. J. H., 1962, *The life of plants*. Weidenfeld and Nicolson (London), P. 62-78
- JØRGENSEN, E. G., 1964, Chlorophyll content and rate of photosynthesis in relation to cell size of the diatom *Cyclotella meneghiniana*. *Physiol. Plant.*, 17: 407-413
- SAEKI, T. and N. NOMOTO, 1958, On the seasonal change of photosynthetic activity of some deciduous and evergreen broadleaf trees. *Bot. Mag. Tokyo*, 71: 235-241
- SAEKI, T., 1959, Variation of photosynthetic activity with aging of leaves and total photosynthesis in a plant community. *Bot. Mag. Tokyo*, 72: 404-408
- SESTÁK, Z., 1963, Changes in the chlorophyll content as related to photosynthetic activity and age of leaves. *Photochem. and Photobiol.*, 2: 101-110
- SMILLIE R. M. and G. KROTOKOV, 1961, Changes in the dry weight, protein, nucleic acid, & chlorophyll contents of growing pea leaves. *Can. J. Botany*, 39: 891-900
- SMILLIE, R. M., 1962, Photosynthetic & respiratory activities of growing pea leaves. *Plant Physiol.*, 37: 716-721
- SWANSON, C. A., and J. P. WHITNEY, 1953, The translocation of foliar-applied and other radioisotopes in bean plants. *Amer. Jour. Bot.*, 40: 816-823
- TAZAKI, K., 1959, Leaf age and unfolding season in the photosynthetic activity of cultivated mulberry plants. *Bot. Mag. Tokyo*, 72: 67-76
- VERNON, L. P. and S. ARONOFF, 1952, Metabolism of soybean leaves. *Arch. Biochem. Biophys.*, 36: 383-398
- 池森雅彦・西田晃二郎, 1966, 褐藻及び緑藻の光合成に及ぼす陽イオンの影響について。能登臨海実年報, 第6巻: 1-8

### Summary

In order to investigate whether or not the morphological differentiation of the fronds of *Sargassum* indicates some metabolic difference, the following experiments were carried out.

- (A) The translocation of the assimilates was studied under a variety of conditions by feeding the radioactive carbon to a limited area of frond of three *Sargassum* species.
- (1) Radioactive carbon was assimilated by the basal or upper part of the frond for 3 hours. No detectable amounts of assimilates were found in the non-feeding area.
  - (2) After 3 hours radioactive carbon assimilation by the basal part, the frond was kept in the dark for 16 hours. No translocation was observed in the non-feeding area.
  - (3) The upper or basal part only was exposed to the light of 20,000 lux and the remaining parts were kept in dark covering with aluminium foil. After 3 hours feeding of radioactive carbon, translocation of assimilates was examined. No measurable amount of radioactive carbon was observed in the shaded part.
- (B) Measurements of photosynthetic and respiratory activity of the different parts of the frond of following species of *Sargassum* were performed: *Sargassum hemiphyllus*, *S. tortile*, *S. nigri-folium*, *S. horneri*, *S. confusum*. Changes in the photosynthetic activities (per unit dry weight of the fronds) from upper part to basal part was observed. In the first three species, activity was highest in the middle parts of the frond. In *S. horneri*, the upper part exhibit the highest activity and gradually decreased its activity toward the basal part. Almost equal activity in each part was observed in *S. confusum*. Respiratory activity of these 5 species decreased from upper part to basal part.